



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127109** (13) **C2**  
(51) МПК (2023.01)  
**B23K 26/02** (2014.01)  
**B23K 26/22** (2006.01)  
**B23K 26/06** (2014.01)  
**B33Y 10/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2020 04021</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>03.07.2020</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>27.04.2023</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>05.01.2022, Бюл.№ 1</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>26.04.2023, Бюл.№ 17</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Коржик Володимир Миколайович (UA), Хаскін Владислав Юрійович (UA), Пелешенко Святослав Ігорович (UA), Ілляшенко Євгеній Володимирович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНЕ ПРЕДСТАВНИЦТВО КИТАЙСЬКО- УКРАЇНСЬКОГО ІНСТИТУТУ ЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА", вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03680 (UA), ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "НАУКОВО- ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР "ПЛАЗЕР", вул. Філатова, 10-а, оф. 2/10, м. Київ, 01042 (UA)</b></p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: CA 2913288 A1, 24.05.2017 DE 102012218487 A1, 02.05.2013 CN 109203456 A, 15.01.2019 US 2018318929 A1, 08.11.2018 RU 2674588 C2, 11.12.2018 UA 112682 C2, 10.10.2016 UA a201805908, 10.12.2019 CN 111299837 A, 19.06.2020</p>
--	--

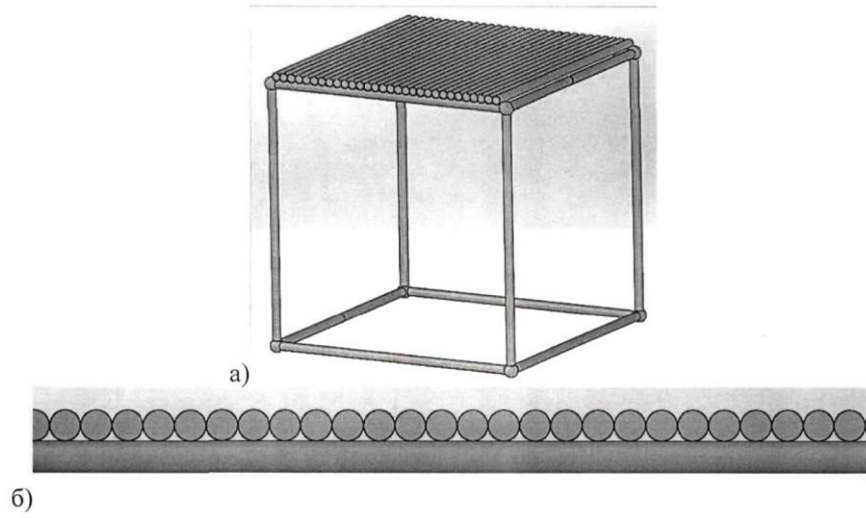
## (54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ТРИВИМІРНИХ МЕТАЛЕВИХ ФЕРМОВИХ ВИРОБІВ

### (57) Реферат:

Винахід стосується способів одержання тривимірних металевих фермових виробів і може знайти застосування в будівництві, машинобудуванні і авіабудуванні. Спосіб одержання тривимірних металевих фермових виробів включає отримання тривимірної структури на поверхні металевої заготовки за допомогою процесу зварювання, при цьому по напрямних в зварювальному пальнику подають дріт, використовують лазерний промінь з потужністю 2000 Вт або менше, за допомогою зварювального циліндричного дроту виготовляють тривимірну структуру, для чого лазерний промінь спрямовують на те місце на поверхні заготовки, на якому виготовляють цю структуру. Згідно з винаходом, кінець зварювального дроту діаметром 0,8-4,0 мм приварюють точковим лазерним зварюванням з експозицією 0,04-0,4 с, відміряють ділянку дроту такої довжини, яку має одиничний елемент створюваної фермової конструкції, відрізають цю ділянку дроту лазерним різанням, а до неї точковим лазерним зварюванням приварюють

UA 127109 C2

наступну ділянку дроту, адитивно утворюючи таким чином просторову фермову конструкцію. Винахід забезпечує отримання складних полегшених зварних конструкцій.



Фіг. 2

Винахід стосується способів одержання тривимірних металевих фермових виробів шляхом плавлення металевого дроту і обрізання його лазерним випромінюванням з адитивним пошаровим нарощуванням каркасних фермових шарів, що дозволяє створювати складні полегшені зварні конструкції. Винахід може знайти застосування в різних галузях промисловості, зокрема будівництві, машино- і авіабудуванні.

Відомим є спосіб прямого селективного лазерного спікання металів [Patent WO 2001091924A1: Direct selective laser sintering of metals. Автори: Suman Das, Joseph J. Veaman; МПК G05B19/4062; 06.12.2001]. Згідно з даним способом виготовляється повністю щільний тривимірний об'єкт за допомогою прямого лазерного спікання. У вакуумованій камері з атмосферою парціального тиску над поверхнею мішені розподіляється порошкоподібний шар, а пучок спрямованої енергії розплавляє металевий порошок для утворення поперечного перерізу твердого шару. Наступний шар порошку наноситься і плавиться разом з частиною попереднього шару. Енергетичний промінь зазвичай є лазерним, який сканує за траєкторією, що нагадує параметричну криву або іншу, довільну частково-параметричну криву (векторне сканування). В іншому варіанті попередній шар не переплавляють, створюючи таким чином оксидну плівку, яка діє як бар'єр для запобігання небажаному проплавленню.

Недоліком зазначеного способу є його низька продуктивність, пов'язана з необхідністю покрокового формування кожного шару, а також із необхідністю застосування порошку із гранулами малого розміру, оскільки від розміру гранул залежить висота шару і шорсткість одержуваного об'єкта.

Для усунення вказаного недоліку можна застосовувати спосіб 3D-друку металевих виробів [Patent CA2913288A1: 3d metal printing device and process. Автори: James Mcqueen, Daniel T. Ziemer, Matthew W. Ziemer, Jacob Thomas Ives, Pavel IKONOMOV; МПК B23K9/04; 24.05.2017.]. Згідно з даним способом машина або апарат для 3D-друку металів включає зварювальний пристрій, який наносить один або більше шарів металу, а також приводний ріжучий інструмент, який може бути використаний для видалення частини металу, нанесеного зварювальником після затвердіння металу. Численні шари металу можуть бути нанесені і оброблені для формування складних металевих 3D-частин конструкції. Під час виготовлення частина може бути сформована на опорі, на якій деталь виготовляється за допомогою операцій зварювання і обробки, без вилучення її з опори. Модель 3D CAD частини конструкції може бути використана для створення коду, який керує апаратом 3D-друку металу. Вимірювальний пристрій, такий як зонд, може бути використаний для вимірювання форми/розміру деталей у 3D-друкарській машині.

Недоліком даного способу є необхідність у додатковому використанні ріжучого інструменту для видалення зайвої частини металу, що ускладнює конструкцію обладнання і уповільнює процес 3D-друку.

Найбільш близьким за технічною суттю (прототип) до описуваного способу є спосіб виготовлення тривимірної структури на поверхні металевої заготовки [Patent DE102012218487B4: Method and apparatus for producing a three-dimensional structure on the surface of a metallic workpiece. Автори: A.Waldhor, S.Schartner; МПК C23K9/0043; 10.09.2015]. Згідно з даним способом отримують тривимірну структуру на поверхні металевої заготовки, виготовленої з титану або титанового сплаву, за допомогою процесу зварювання. При цьому по напрямних в зварювальному пальнику подається дріт, між яким і заготовкою запалюється дуга, а для її стабілізації використовується лазерний промінь з максимальною потужністю 2000 Вт. За допомогою зварювального дроту виготовляється тривимірна структура, для чого лазерний промінь спрямовують на те місце на поверхні заготовки, на якому виготовляється ця структура. Лазерний промінь перед запалюванням дуги активується.

Недоліками даного способу є необхідність у додатковому використанні електричної дуги, яка збільшує вкладання тепла у створюваний виріб, спрямованість на роботу виключно із титаном та його сплавами, а також відсутність можливості обрізання дроту, з якого створюють готовий тривимірний виріб, для підвищення гнучкості його формування.

В основу винаходу поставлена задача створення способу одержання тривимірних металевих фермових виробів шляхом плавлення металевого дроту і обрізання його лазерним випромінюванням з адитивним пошаровим нарощуванням каркасних фермових зварних шарів. Такий спосіб дозволить виготовляти складні об'ємні полегшені конструкції для застосування у різних галузях промисловості, зокрема будівництві, машино- і авіабудуванні тощо.

Для вирішення поставленої задачі створення способу одержання тривимірних металевих фермових виробів отримують тривимірну структуру на поверхні металевої заготовки за допомогою процесу зварювання, при цьому по напрямних в зварювальному пальнику подають дріт, використовують лазерний промінь, за допомогою зварювального циліндричного дроту

виготовляють тривимірну структуру, для чого лазерний промінь спрямовують на те місце на поверхні заготовки, на якому виготовляють цю структуру. Кінець зварювального дроту діаметром 0,8-4,0 мм приварюють точковим лазерним зварюванням з експозицією 0,04-0,4 с, відміряють ділянку дроту такої довжини, яку має одиничний елемент створюваної фермової
   
 5 конструкції, відрізають цю ділянку дроту лазерним різанням, а до неї точковим лазерним зварюванням приварюють наступну ділянку дроту, адитивно утворюючи таким чином просторову фермову конструкцію, протягом всього часу експозиції лазерного випромінювання, необхідного для утворення зварного точкового з'єднання, дріт діаметром 0,8-4,0 мм, з якого формують фермову конструкцію, притискають із повздовжнім зусиллям 2-40 кГс, а сфокусоване
   
 10 випромінювання потужністю 200-2000 Вт сканують зворотно-поступально вздовж осі дроту з амплітудою 0,1-2,0 мм і частотою 50-250 Гц із щонайменше двократним збільшенням часу експозиції. В зону зварювання дроту подають захисний газ (аргон, гелій, вуглекислота, азот) або газову суміш із витратами 5...15 л/хв із формуванням ламінарного потоку, так щоб площа перерізу цього ламінарного потоку захисного газу перевищувала максимальний розмір
   
 15 зварювальної ванни щонайменше у 5 разів. При лазерному відрізанняні потрібної ділянки дроту подають одиничні імпульси випромінювання тривалістю 1-10 мс або серії з 10-100 таких імпульсів із піковою потужністю 200-2000 Вт, при цьому в місце дії випромінювання перпендикулярно дроту подають вузькоспрямований потік стисненого газу (кисню, азоту, аргону або повітря) під тиском 0,2-0,6 МПа. При виготовленні каркасних фермових виробів з
   
 20 металевго дроту формують геометричні фігури типу призм, кубів, паралелепіпедів, ікосаєдрів та інших подібних елементів за рахунок створення у їхніх вершинах зварювальних точкових з'єднань дроту шляхом лазерного зварювання і відрізання дроту. Для формування фермових виробів використовують металеві дроти, які мають однаковий хімічний склад. Для формування фермових виробів використовують металеві дроти, які мають різний хімічний склад.
   
 25 Формування суцільної поверхневої оболонки тривимірного виробу або його суцільних внутрішніх перегородок здійснюють шляхом поступового заповнення простору між відповідними гранями фермової конструкції дротом того ж або меншого діаметра, ніж сформовані елементи фермової конструкції, із точковим приварюванням торців ділянок дроту до грані фермової конструкції, відрізанням його на довжину відстані до протилежної грані, точковим
   
 30 приварюванням до цієї протилежної грані, із почерговим повторенням цих операцій зі стикуванням ділянок дроту одна до одної без зазору, до заповнення матеріалом дроту проміжку між гранями фермової конструкції. Ділянки дроту стикують шовним стиковим лазерним зварюванням із потужністю випромінювання 200-2000 Вт і швидкістю 0,5-5,0 м/хв по всій довжині стику кожних сусідніх ділянок дроту одна до одної у міру їх додавання із нарощуванням
   
 35 поверхні. Формування суцільної поверхневої оболонки або суцільних внутрішніх перегородок здійснюють шляхом оплавлення поверхні стикованих дротів лазерним випромінюванням зі щільністю потужності  $10^5-10^8$  Вт/см<sup>2</sup> із застосуванням поперечного ділянкам дроту сканування лазерного випромінювання із частотою 30...300 Гц та амплітудою, що становить не менше 2,5 діаметра дроту, так що утворюється суцільний шар металу товщиною не менше половини
   
 40 товщини дроту (наприклад, 0,5...3,0 мм).

Суть способу пояснюється кресленнями на фіг. 1-5. Металевий зварювальний дріт 1 діаметром 0,8-4,0 мм спрямовують на те місце на підкладки або поверхні заготовки, на якому виготовляється тривимірна структура, за допомогою напрямних зварювального пальника 2. Після цього вільний кінець дроту 1 приварюють сфокусованим лазерним випромінюванням 3,
   
 45 що має потужність  $W \leq 2000$  Вт, до елемента-основи або до інших елементів 4 фермової конструкції. При цьому утворюються зварні точкові з'єднання 5. Для отримання одиничного елемента 4 фермової конструкції після точкового приварювання кінця зварювального дроту 1 відміряється його ділянка такої довжини L, яку має створюваний одиничний елемент, після чого потрібну ділянку дроту відрізають лазерним різанням. До обрізаного кінця одиничного
   
 50 елемента 4 точковим лазерним зварюванням приварюють наступну ділянку дроту і таким чином адитивно формують полегшену фермову конструкцію.

Для усунення такого дефекту, як зменшення товщини зварювального дроту біля зварної точки дріт 1 притискають із повздовжнім зусиллям  $P=2...40$  кГс, а сфокусоване випромінювання потужністю  $W=200...2000$  Вт сканують зворотно-поступально вздовж осі дроту з амплітудою
   
 55  $A=0,1...2,0$  мм і частотою  $f=30...300$  Гц. Вздовж дроту 1 при зварюванні подають ламінарний потік захисного газу (аргон, гелій, вуглекислота, азот) або суміш цих газів із витратами  $Q=5...15$  л/хв.

Після утворення зварної точки 5 і відмірювання потрібної довжини L за допомогою тієї ж або іншої лазерної головки здійснюють відрізання дроту 1. Для цього подаються одиничні імпульси
   
 60 випромінювання тривалістю  $T=1...10$  мс або серії з 10-100 таких імпульсів із піковою потужністю

$W=200...2000$  Вт. При цьому в місці дії випромінювання перпендикулярно дроту подається вузько спрямований потік стисненого газу (кисню, азоту, аргону або повітря) під тиском  $p=0,2...0,6$  МПа.

Фермові тривимірні конструкції у вигляді геометричних фігур типу призм, кубів, паралелепіпедів, ікосаєдрів та інших подібних елементів створюються зі зварювального дроту, матеріалом якого може бути вуглецева або нержавіюча сталь, а також сплави на основі алюмінію, магнію, берилію, титану і міді (у тому числі безпосередньо алюміній, магній, берилій, титан і мідь). У разі використання зварювального дроту з алюмінію, магнію, берилію та їх сплавів для усунення поверхневої окисної плівки доцільно застосовувати її катодне розпилювання. Для цього замість лазерного зварювання можна застосовувати лазерно-плазмове або плазмове зварювання. В обох випадках використовують різнополярні імпульси струму плазми прямої дії із частотою 100-500 Гц. У разі лазерно-плазмового зварювання потужність випромінювання знижують вдвічі, струм імпульсів прямої полярності становить до 50 А, а зворотної - до 30 А. У разі плазмового зварювання струм імпульсів прямої полярності становить до 100 А, а зворотної - до 50 А.

Після утворення пропонованим способом фермової конструкції її можна як безпосередньо використовувати, так і додатково герметизувати. В останньому випадку зовні може вирощуватися суцільна герметична оболонка за рахунок повздовжнього шовного приварювання ділянок зварювального дроту лазерним зварюванням із потужністю випромінювання  $W=200...2000$  Вт і швидкістю  $V=0,5...5,0$  м/хв. Також можуть застосовуватися описані вище лазерно-плазмовий і плазмовий способи зварювання.

Для створення суцільної оболонки, спочатку, на зовнішню сторону фермової конструкції щільно одна до одної накладають і приварюють ділянки дроту меншого діаметру, ніж діаметр дроту, з якого виготовлено конструкцію (фіг. 2). Для герметичності оболонки, яку виготовляють таким чином, ці ділянки дротів можна зварювати між собою встик. Після цього отриманий шар з окремих дротів можна зробити суцільним за рахунок його оплавлення на глибину до половини діаметру дроту (фіг. 3). Оплавлення може виконуватися поперек довжини дротів або вздовж із поперечним скануванням лазерного випромінювання із частотою 30...300 Гц та амплітудою, що становить не менше 2,5 діаметра дроту, з якого формується суцільна оболонка.

Для збільшення жорсткості фермової конструкції в ній можуть створюватися суцільні внутрішні перегородки (ребер жорсткості) таким же чином, як пропонується створювати зовнішню оболонку.

Для перевірки ефективності пропонованого способу спочатку провели відпрацювання технологічного режиму шляхом приварювання дроту до підкладки (фіг. 4) і зварювання дротів один з одним (фіг. 5). Після цього виконали порівняння запропонованого способу із способом-прототипом. В обох випадках формували по 10 тривимірних фермових конструкцій типу кубу з довжиною сторони  $L=10$  мм з використанням присаджувального дроту ESAB OK Autrod 308L ( $\varnothing 1,2$  мм). Для виготовлення однієї конструкції типу куб було потрібно виконати 8 точкових з'єднань.

Згідно способу-прототипу лазерно-дуговим зварюванням одержували зварні точкові з'єднання з використанням випромінювання потужністю 100 Вт і дуги плавкого електроду зі струмом 40 А при напрузі 12 В. Відрізання ділянок дроту довжиною  $L=10$  мм виконували механічним способом. В результаті час виготовлення однієї конструкції становив 15 хв., відсоток браку - 50 %. Брак утворювався через надмірне зменшення товщини зварювального дроту після утворення точкового з'єднання із наступним обрізанням дроту.

Згідно із пропонованим способом лазерним зварюванням одержували зварні точкові з'єднання з використанням випромінювання потужністю 100 Вт із скануванням сфокусованого випромінювання з амплітудою 1,0 мм і частотою 100 Гц. Відрізання ділянок дроту довжиною  $L=10$  мм виконували лазерними імпульсами тривалістю 10 мс із піковою потужністю 600 Вт без використання піддування повітря або іншого газу, В результаті час виготовлення однієї конструкції становив 5 хв, браку не було.

Таким чином, запропонований спосіб одержання тривимірних металевих фермових і полегшених виробів дозволяє приблизно втричі збільшити продуктивність виготовлення полегшених об'ємних конструкцій, а також вдвічі зменшити відсоток браку порівняно із способом-прототипом.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб одержання тривимірних металевих фермових виробів, згідно з яким отримують тривимірну структуру на поверхні металевої заготовки за допомогою процесу зварювання, при

- цьому по напрямних в зварювальному пальнику подають дріт, використовують лазерний промінь з потужністю 2000 Вт або менше, за допомогою зварювального циліндричного дроту виготовляють тривимірну структуру, для чого лазерний промінь спрямовують на те місце на поверхні заготовки, на якому виготовляють цю структуру, який **відрізняється** тим, що кінець
- 5 зварювального дроту діаметром 0,8-4,0 мм приварюють точковим лазерним зварюванням з експозицією 0,04-0,4 с, відміряють ділянку дроту такої довжини, яку має одиничний елемент створеної фермової конструкції, відрізають цю ділянку дроту лазерним різанням, а до неї точковим лазерним зварюванням приварюють наступну ділянку дроту, адитивно утворюючи таким чином просторову фермову конструкцію.
- 10 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що протягом всього часу експозиції лазерного випромінювання, необхідного для утворення зварного точкового з'єднання, дріт діаметром 0,8-4,0 мм, з якого формують фермову конструкцію, притискають із поздовжнім зусиллям 2-40 кГс, а сфокусоване випромінювання потужністю 200-2000 Вт сканують зворотно-поступально вздовж осі дроту з амплітудою 0,1-2,0 мм і частотою 50-250 Гц із щонайменше двократним збільшенням часу експозиції.
- 15 3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що в зону зварювання дроту подають захисний газ, зокрема аргон або гелій, або вуглекислоту, або азот, або газову суміш із витратами 5...15 л/хв із формуванням ламінарного потоку, так щоб площа перерізу цього ламінарного потоку захисного газу перевищувала максимальний розмір зварювальної ванни щонайменше у 5 разів.
- 20 4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при лазерному відрізання потрібної ділянки дроту подають одиничні імпульси випромінювання тривалістю 1-10 мс або серії з 10-100 таких імпульсів із піковою потужністю 200-2000 Вт, при цьому в місце дії випромінювання перпендикулярно дроту подають вузькопрямований потік стисненого газу, зокрема кисню або азоту, або аргону, або повітря, під тиском 0,2-0,6 МПа.
- 25 5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при виготовленні каркасних фермових виробів з металевого дроту формують геометричні фігури типу призм, кубів, паралелепіпедів, ікосаєдрів та подібних елементів за рахунок створення у їх вершинах зварювальних точкових з'єднань дроту шляхом лазерного зварювання і відрізання дроту.
- 30 6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування фермових виробів використовують металеві дроти, які мають однаковий хімічний склад.
7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування фермових виробів використовують металеві дроти, які мають різний хімічний склад.
- 35 8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що формування суцільної поверхневої оболонки тривимірного виробу або його суцільних внутрішніх перегородок здійснюють шляхом поступового заповнення простору між відповідними гранями фермової конструкції дротом того ж або меншого діаметра, ніж сформовані елементи фермової конструкції, із точковим приварюванням торців ділянок дроту до грані фермової конструкції, відрізанням його на довжину відстані до протилежної грані, точковим приварюванням до цієї протилежної грані, із почерговим повторенням цих операцій зі стикуванням ділянок дроту одна до одної без зазору,
- 40 до заповнення матеріалом дроту проміжку між гранями фермової конструкції.
9. Спосіб за п. 8, який **відрізняється** тим, що ділянки дроту стикують шовним стиковим лазерним зварюванням із потужністю випромінювання 200-2000 Вт і швидкістю 0,5-5,0 м/хв по всій довжині стику кожних сусідніх ділянок дроту одна до одної у міру їх додавання із нарощуванням поверхні.
- 45 10. Спосіб за п. 8, який **відрізняється** тим, що формування суцільної поверхневої оболонки або суцільних внутрішніх перегородок здійснюють шляхом оплавлення поверхні стикованих дротів лазерним випромінюванням зі щільністю потужності  $10^5 \dots 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> із застосуванням поперечного ділянкам дроту сканування лазерного випромінювання із частотою 30...300 Гц та амплітудою, що становить не менше 2,5 діаметра дроту, так що утворюється суцільний шар
- 50 металу товщиною не менше половини товщини дроту, наприклад 0,5...3,0 мм.

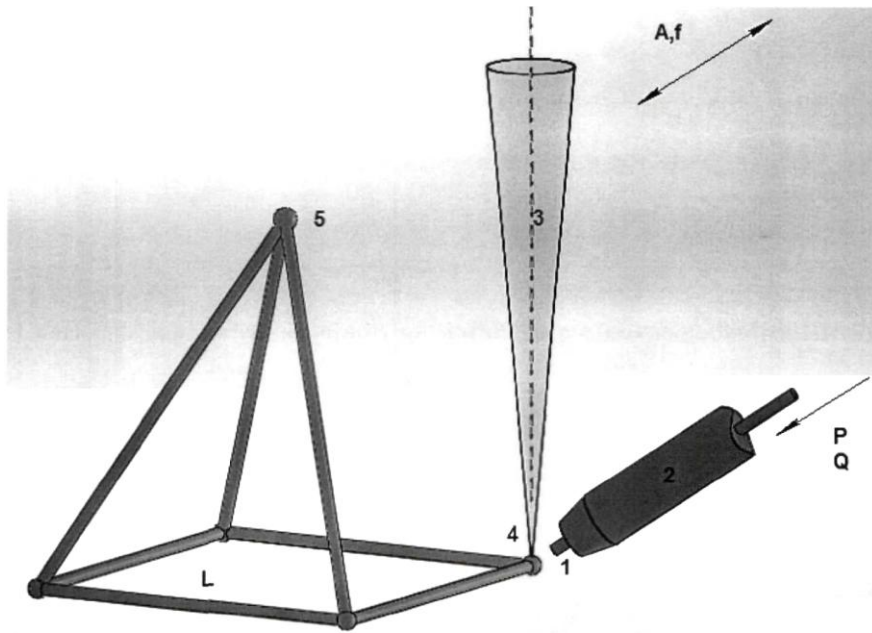


Fig. 1

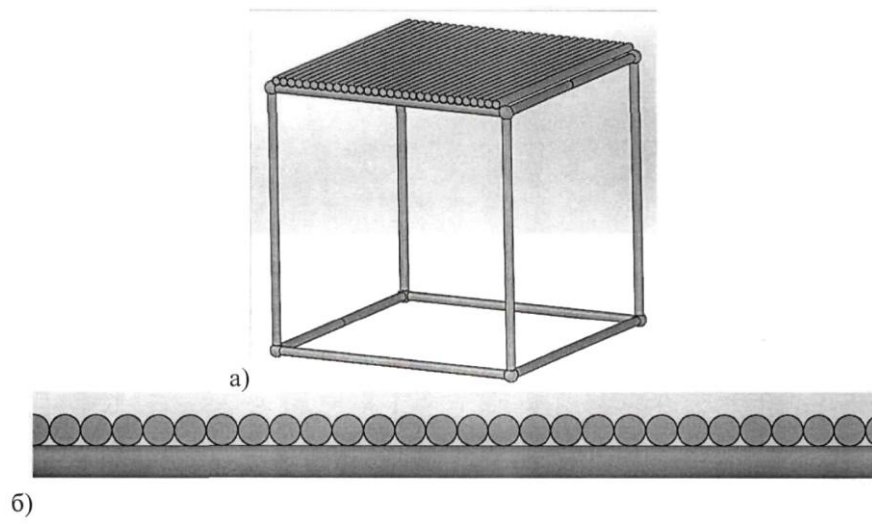


Fig. 2

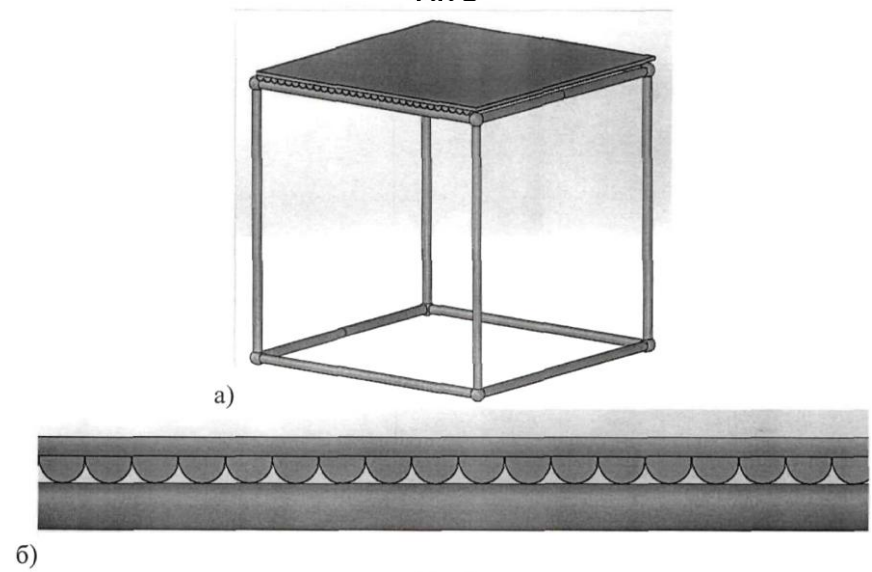
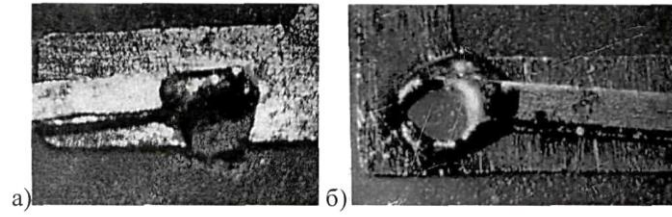
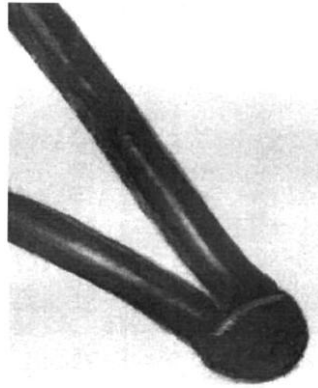


Fig. 3



**Фіг. 4**



**Фіг. 5**